



REC'D 14 JAN 2005

WIPO

PCT

BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION**COPIE OFFICIELLE**

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 07 OCT. 2004

Pour le Directeur général de l'Institut
national de la propriété industrielle
Le Chef du Département des brevets

Martine PLANCHE

DOCUMENT DE PRIORITE

PRÉSENTÉ OU TRANSMIS
CONFORMÉMENT À LA
RÈGLE 17.1.a) OU b)

INSTITUT
NATIONAL DE
LA PROPRIÉTÉ
INDUSTRIELLE

SIEGE
26 bis, rue de Saint-Petersbourg
75300 PARIS cedex 08
Téléphone : 33 (0)1 53 04 53 04
Télécopie : 33 (0)1 53 04 45 23
www.inpi.fr

REMISE DES PIÈCES DATE 28 OCT 2003 LIEU 75 INPI PARIS B N° D'ENREGISTREMENT 0312621 NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE 28 OCT. 2003 PAR L'INPI		1 NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE SANTARELLI 14, avenue de la Grande Armée 75017 PARIS	
Vos références pour ce dossier <i>(facultatif)</i> BIF023430/FR			
Confirmation d'un dépôt par télécopie <input type="checkbox"/> N° attribué par l'INPI à la télécopie		2 NATURE DE LA DEMANDE Demande de brevet Demande de certificat d'utilité Demande divisionnaire <i>Demande de brevet initiale</i> <i>ou demande de certificat d'utilité initiale</i> Transformation d'une demande de brevet européen <i>Demande de brevet initiale</i>	
		Cochez l'une des 4 cases suivantes <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
		N° _____ Date _____ N° _____ Date _____ N° _____ Date _____	
3 TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum) Procédé de transfert catastrophique d'une couche fine après co-implantation			
4 DÉCLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE		Pays ou organisation _____ N° _____ Date _____ Pays ou organisation _____ N° _____ Date _____ Pays ou organisation _____ N° _____ Date _____ <input type="checkbox"/> S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	
5 DEMANDEUR (Cochez l'une des 2 cases) Nom ou dénomination sociale Prénoms Forme juridique N° SIREN Code APE-NAF Domicile ou siège Nationalité N° de téléphone <i>(facultatif)</i> Adresse électronique <i>(facultatif)</i>		<input checked="" type="checkbox"/> Personne morale <input type="checkbox"/> Personne physique S.O.I.TEC SILICON ON INSULATOR TECHNOLOGIES société anonyme Parc Technologique des Fontaines, Chemin des Franques 138190 BERNIN FRANCE FRANCAISE N° de télécopie <i>(facultatif)</i>	
		<input checked="" type="checkbox"/> S'il y a plus d'un demandeur, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	

Réservé à l'INPI

REMISE DES PIÈCES

DATE

28 OCT 2003

LIEU

75 INPI PARIS B

N° D'ENREGISTREMENT

0312621

NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI

DB 540 W / 210502

6 MANDATAIRE (s'il y a lieu)

Nom

Prénom

Cabinet ou Société

N° de pouvoir permanent et/ou
de lien contractuel

Adresse

Rue

Code postal et ville

Pays

N° de téléphone (facultatif)

N° de télécopie (facultatif)

Adresse électronique (facultatif)

SANTARELLI

14 Avenue de la Grande Armée

75017 PARIS

FRANCE

01 40 55 43 43

7 INVENTEUR (S)

Les inventeurs sont nécessairement des personnes physiques

Les demandeurs et les inventeurs
sont les mêmes personnes

☐ Oui

☒ Non : **Dans ce cas remplir le formulaire de Désignation d'inventeur(s)**

8 RAPPORT DE RECHERCHE

Uniquement pour une demande de brevet (y compris division et transformation)

Établissement immédiat
ou établissement différé

☒

☐

Paiement échelonné de la redevance
(en deux versements)

Uniquement pour les personnes physiques effectuant elles-mêmes leur propre dépôt

☐ Oui

☐ Non

**9 RÉDUCTION DU TAUX
DES REDEVANCES**

Uniquement pour les personnes physiques

☐ Requête pour la première fois pour cette invention (joindre un avis de non-imposition)

☐ Obtenue antérieurement à ce dépôt pour cette invention (joindre une copie de la décision d'admission à l'assistance gratuite ou indiquer sa référence) : **AG** [] [] [] [] []

**10 SÉQUENCES DE NUCLEOTIDES
ET/OU D'ACIDES AMINÉS**

☐ Cochez la case si la description contient une liste de séquences

Le support électronique de données est joint

☐

La déclaration de conformité de la liste de
séquences sur support papier avec le
support électronique de données est jointe

☐

Si vous avez utilisé l'imprimé «Suite»,
indiquez le nombre de pages jointes

**11 SIGNATURE DU DEMANDEUR
OU DU MANDATAIRE**
(Nom et qualité du signataire)

**Bruno QUANTIN N°92.1206
SANTARELLI**

**VISA DE LA PRÉFECTURE
OU DE L'INPI**



26 bis, rue de Saint Pétersbourg
75800 Paris Cedex 08
Téléphone : 33 (1) 53 04 53 04 Télécopie : 33 (1) 42 94 86 54

re dépôt

BREVET D'INVENTION CERTIFICAT D'UTILITÉ

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI



REQUÊTE EN DÉLIVRANCE

Page suite N° 1 / 1.

SUITE

Réservé à l'INPI

REMISE DES PIÈCES

DATE

28 OCT 2003

LIEU

75 INPI PARIS B

N° D'ENREGISTREMENT

0312621

NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

08 829 W / 140301

Vos références pour ce dossier (facultatif)

BIF023430/ER

**4 DÉCLARATION DE PRIORITÉ
OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE
LA DATE DE DÉPÔT D'UNE
DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE**

Pays ou organisation

Date

N°

Pays ou organisation

Date

N°

Pays ou organisation

Date

N°

5 DEMANDEUR

Nom ou dénomination sociale

COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE

Prénoms

Forme juridique

Etablissement public à caractère scientifique, technique et industriel

N° SIREN

Code APE-NAF

Adresse

Rue

31/33, rue de la Fédération,

Code postal et ville

75752 PARIS

Pays

FRANCE

Nationalité

FRANÇAISE

N° de téléphone (facultatif)

N° de télécopie (facultatif)

Adresse électronique (facultatif)

5 DEMANDEUR

Nom ou dénomination sociale

Prénoms

Forme juridique

N° SIREN

Code APE-NAF

Adresse

Rue

Code postal et ville

Pays

Nationalité

N° de téléphone (facultatif)

N° de télécopie (facultatif)

Adresse électronique (facultatif)

**10 SIGNATURE DU DEMANDEUR
OU DU MANDATAIRE
(Nom et qualité du signataire)**

Bruno QUANTIN N°92.1206
SANTARELLI

**VISA DE LA PRÉFECTURE
OU DE L'INPI**

5

10 **Domaine de l'invention**

L'invention concerne un procédé de transfert d'une couche ultra-fine (on parle aussi de couche mince ou ultra-mince) à basse température par la méthode de co-implantation. Elle trouve des applications en particulier dans les domaines de la micro-électronique, de la micro-mécanique, de l'optique et de l'électronique intégrée.

Etat de la technique

Ainsi qu'on le sait, le détachement d'une couche mince peut être obtenu par implantation d'espèces chimiques dans un substrat source, par exemple en silicium, pour induire la formation d'une zone de défauts à une certaine profondeur. Ces défauts peuvent être des micro-bulles et/ou des platelets et/ou des micro-cavités et/ou des boucles de dislocations et/ou d'autres défauts cristallins, perturbant localement la qualité cristalline du matériau ; leur nature, leur densité et leur taille dépendent beaucoup de l'espèce implantée (de l'hydrogène, typiquement) ainsi que de la nature du substrat source. Un traitement thermique peut ensuite être appliqué pour permettre le développement des défauts spécifiques présents dans la zone fragilisée, ce qui permet d'obtenir le détachement ultérieur de la couche mince du substrat source, en principe par mise sous pression des défauts. Ceci a

notamment été décrit dans le document US-5 374 564 et ses développements, dont le document US-6 020 252.

Le détachement peut se faire en appliquant, généralement suite au traitement thermique, une force extérieure qui provoque la fracture dans la zone fragilisée jusqu'au détachement de la couche mince.

Lorsque le détachement est réalisé à haute température (typiquement vers 500°C environ), parmi les problèmes technologiques rencontrés, il faut citer la rugosité de la surface ainsi que la dégradation de la couche transférée au cours du détachement thermique. Cela rend plus difficiles les étapes suivantes de traitement (par exemple : il faut polir plus la couche transférée, des défauts cristallins risquent d'être créés pendant les traitements suivants, ...). De plus, dans les hétéro-structures (comportant une superposition de substrats en matériaux différents), un autre problème technologique rencontré est la présence d'un champ de contraintes très fort dans les diverses couches en contact, au cours du traitement thermique, en raison de la différence des coefficients de dilatation thermique des divers matériaux mis en contact. Cela peut induire la dégradation des hétéro-structures si le détachement thermique s'opère à une température plus haute qu'une température critique. Cette dégradation peut être, typiquement, la casse d'un ou des deux substrats mis en contact et/ou le décollement des substrats au niveau de l'interface de collage.

C'est pourquoi il peut être souhaité d'obtenir le détachement à plus basse température.

Une façon d'obtenir le détachement à basse température est de "jouer" avec les conditions d'implantation. Par exemple, un surdosage de l'espèce implantée permet d'augmenter la fragilisation de la zone implantée dans laquelle a lieu le détachement à basse température.

C'est ainsi que Henttinen et al. (2000) [1] ont montré que, si le substrat source est une plaque de silicium, une dose d'ions d'hydrogène implantés de $1.10^{17} \text{ H}^+/\text{cm}^2$ (soit $5.10^{16} \text{ H}_2/\text{cm}^2$) permet le détachement par une force mécanique, après réalisation des étapes suivantes : traitement, de même que le substrat cible, par une activation chimique de plasma ; nettoyage

de type RCA1, collage à température ambiante du substrat source sur le substrat cible, et recuit à 200°C pendant 2h. La force mécanique utilisée provenait d'une lame insérée à l'interface collé pour initier le détachement.

5 Cette approche, bien que diminuant la rugosité de la surface transférée (de l'ordre de la moitié par rapport aux solutions classiques de détachement, purement thermiques et sans activation plasma), implique une étape d'activation chimique de plasma suivie d'un nettoyage RCA1, ce qui peut représenter un inconvénient important d'un point de vue industriel (coût élevé).

10 De plus, il est important de noter que, du fait de la forte dose d'hydrogène implantée, le traitement thermique après collage ne doit pas dépasser 300°C, température à laquelle un détachement thermique pourrait avoir lieu, auquel cas on n'obtiendrait plus l'avantage précité de la diminution de la rugosité de la surface transférée : une étape d'activation chimique de plasma, suivie d'un nettoyage RCA1 est donc indispensable pour renforcer le collage
15 avant sa consolidation thermique suivant la technique décrite par HENTTINNEN.

Il est important de noter que, en fait, ce n'est pas uniquement la température de traitement qui conditionne les conditions ultérieures de détachement de la couche mince, mais aussi la durée de ce traitement, ce qui
20 s'est traduit par la notion de budget thermique (voir FR-2 767 416 - CEA) ; quant à l'apport d'énergie mécanique, il est par exemple appliqué par un outil de type "guillotine" (voir WO 02/083387 - SOITEC).

Ainsi, on a constaté que, si le budget thermique est trop faible, le transfert de la couche mince est de mauvaise qualité, tandis que s'il est trop
25 élevé, il peut y avoir fracture de l'un des substrats dans le cas d'une hétéro-structure. On comprend donc qu'il existe en principe une fenêtre étroite pour les paramètres opératoires, (bien entendu liée aux conditions, notamment les doses implantées, la nature des matériaux, les températures de recuit, ...), or cette étroitesse constitue une contrainte lourde pour une exploitation
30 industrielle.

Par ailleurs, le détachement mécanique consiste souvent à introduire une ou plusieurs lames depuis les bords de la structure, comme pour la

"découper" le long de la zone fragilisée ; on parle parfois de détachement assisté, puisque le rôle de l'outil (tel qu'une lame) est de propager l'onde de fracture d'un bord à l'autre de la structure.

Ce type de fracture amène les défauts suivants, au niveau de la
5 future surface dégagée par le détachement de la couche mince :

- défaut de couronne (zone non transférée, à la périphérie du produit final), par exemple lié à une énergie de collage local trop faible par rapport au reste de l'interface, et à l'introduction des outils pour entamer le transfert,
- 10 - non uniformité (rugosité à basse fréquence) de l'épaisseur de la couche mince transférée, notamment en raison de l'onde de fracture assistée mécaniquement, donc irrégulière, par à coups, ce qui nécessite ensuite des traitements, tels qu'un polissage, que l'on cherche pourtant à éviter de manière générale,
- 15 - difficile déploiement industriel, compte tenu de l'utilisation d'un outil qui accompagne la propagation de la fracture, ce qui implique un traitement individuel de chaque structure (ou plaque).

La plupart de ces inconvénients se retrouve dans le cas du
détachement d'une couche mince dans un substrat homogène (avec un seul
20 matériau constitutif (SOI, par exemple).

Le détachement de la couche mince est bien sûr également conditionné par le choix des espèces chimiques implantées.

Il a été indiqué ci-dessus qu'on implante généralement de l'hydrogène, mais d'autres options ont été proposées, notamment en implantant
25 de l'hélium.

Il peut même y avoir combinaison de deux espèces chimiques différentes.

C'est ainsi que Agarwal et al. (1998) [2] ont constaté que le fait d'implanter à la fois de l'hydrogène et de l'hélium permettait de réduire la dose
30 totale d'ions implantés, en raison semble-t-il de rôles différents joués par l'hydrogène et par l'hélium : l'hydrogène interagit avec les liaisons Si-Si brisées par l'implantation, pour créer des liaisons Si-H, ce qui aboutit à une grande

densité de défauts de type platelets d'une taille de l'ordre de 3-10 nm (appelés H-défauts, de type platelet), tandis que l'hélium, qui n'agit pas chimiquement, conduit à l'apparition d'une moindre densité de défauts plus grands (taille supérieure à 300 nm environ). Les traitements thermiques envisagés dans cet article sont de 450°C pendant 20 mn ou de 750°C pendant 20s, ce qui implique nécessairement les inconvénients précités à propos du détachement à haute température.

Cette combinaison hydrogène-hélium a aussi été étudiée, de manière plus théorique, par Cerofolini et al. (2000) [3], qui ont noté que la mise sous pression des défauts était plus forte avec l'implantation de l'hélium qu'avec celle de l'hydrogène, et que le traitement thermique pouvait avoir des effets différents selon la température choisie : un recuit entre 150°C-250°C provoque une diminution du nombre de liaisons Si-H, un recuit dans la gamme 300°C-450°C provoque au contraire une augmentation de ce nombre, tandis qu'un recuit au-delà de 550°C tend plutôt à faire diminuer à nouveau ce nombre. Mais cet article n'en déduit pas de conclusions pratiques quant à la manière d'obtenir des couches minces de bonne qualité (notamment du point état de surface) pour un coût modéré.

L'invention a pour objet de pallier les inconvénients précités.

Plus précisément, l'invention a pour objet un procédé de transfert d'une couche mince conduisant à une faible rugosité de la surface de la couche transférée, et n'impliquant pas de fortes contraintes mécaniques en cas de matériaux présentant de grandes différences de coefficients de dilatation. En d'autres termes, l'invention vise à obtenir, pour un coût modéré, des couches minces de grande qualité, en évitant donc, à la fois les inconvénients d'un traitement thermique à haute température et ceux liés à l'usage d'un outil pour un détachement assisté, et ceux liés à un traitement additionnel pour diminuer la rugosité après détachement.

30 Présentation de l'invention

L'invention propose à cet effet un procédé de transfert catastrophique d'une couche fine selon lequel :

- on prépare un substrat source,
- on implante dans ce substrat-source une première espèce d'ions ou de gaz dans une première dose à une profondeur donnée par rapport à une face de ce substrat-source, et une seconde espèce d'ions ou de gaz dans une
5 seconde dose, cette première espèce étant apte à générer des défauts et la seconde espèce étant apte à occuper ces défauts,
- on applique un raidisseur en contact intime avec le substrat-source,
- on applique un traitement thermique à ce substrat-source, à une
10 température donnée pendant un temps donné, en sorte de créer, sensiblement à la profondeur donnée, une zone enterrée fragilisée, sans initier le détachement thermique de la couche fine,
- on applique un apport localisé d'énergie à ce substrat-source en sorte de provoquer le détachement catastrophique d'une couche fine délimitée entre
15 la face et la couche enterrée fragilisée, vis-à-vis du reste du substrat-source, cette couche mince ayant à l'opposé de la dite face, une face dont la rugosité est inférieure à un seuil donné.

On peut définir ici un détachement catastrophique comme étant un détachement complet et quasi-instantané, analogue à celui obtenu par un simple traitement thermique à haute température, mais provoqué par un
20 éventuel outil sans que celui-ci ait à suivre une quelconque onde de fracture (s'il y a un outil, il vient donc au plus en contact avec le substrat et la couche, sans longer l'interface de détachement) ; c'est donc, en d'autres termes, le contraire d'un détachement assisté.

Ainsi définie, l'invention est fondée sur l'implantation de deux
25 espèces différentes. L'une des espèces implantées localise, en fonction de son énergie d'implantation, la zone où se produira ultérieurement le détachement par la formation de défauts spécifiques; l'autre correspond à un type d'atomes piégés dans cette zone qui favorisera l'extension des défauts spécifiques désignés précédemment, apparemment : en augmentant la fragilisation de la
30 zone implantée à relativement basse température en empêchant, dans le cas de l'implantation d'un substrat en silicium par de l'hydrogène, la dissociation Si-

H (donc en favorisant les H-défauts du type platelets) et en mettant ces défauts sous pression.

La température de traitement thermique est avantageusement choisie en sorte de favoriser les défauts de type platelets sans pour autant induire de détachement thermique. Cette température sera suffisamment basse pour ne pas générer des contraintes mécaniques importantes dans le substrat dans l'hypothèse où le substrat source et/ou un éventuel substrat cible comporteraient des matériaux présentant des coefficients de dilatation très différents. C'est pourquoi le procédé est un procédé de transfert se produisant à une température relativement basse (pas plus de 400°C pour éviter l'échappement de l'hélium, dans le cas d'une co-implantation Hydrogène-Hélium).

Il mérite d'être souligné que, selon l'invention, en co-implantant deux espèces gazeuses, telles que l'hydrogène et l'hélium, et en fragilisant thermiquement la structure à basse température (en dessous du seuil précité de 400°C, voire en dessous de 300°C), il a été observé que, de manière tout à fait surprenante, on change la nature du détachement (ou "splitting" en anglais) ; on parvient ainsi à fragiliser très fortement la zone implantée sans générer de détachement purement thermique, et cela quelque soit le temps de recuit (pas de détachement observé après 24h de recuit à la basse température définie ci-dessus) ; par contre, le détachement se déclenche de manière catastrophique, par simple apport d'énergie localisé dans le temps et dans l'espace (tel qu'un choc mécanique au niveau de l'interface fragilisé, par exemple. Il semble ainsi que la notion de budget thermique exposée dans le document FR - 2 767 416 précité ne soit plus appropriée dans le cas d'une co-implantation avec un traitement thermique à basse température dans les conditions énoncées précédemment.

Les conséquences en sont significatives :

- la fenêtre opératoire de l'étape de recuit de pré-fragilisation est agrandie : il n'existe plus (ou celle-ci est fortement repoussée) de borne maximum pour la durée de ce recuit de pré-fragilisation ; cela est tout à fait favorable à l'industrialisation du procédé,

- il n'y a plus de détachement assisté puisque la fracture catastrophique permet de propager l'onde de fracture instantanément et sans à-coups sur toute la section de la plaque ;
il n'est pas nécessaire qu'une quelconque lame pénètre entre le substrat et la future couche mince, ce qui améliore nettement la topologie des surfaces ainsi dégagées (avec donc une rugosité plus faible), et évite les défauts de couronne, ce qui rend utilisable la totalité de la couche mince, y compris sa périphérie ;
le fait de ne plus avoir à introduire d'outil est aussi favorable à l'industrialisation du procédé.

Les inventeurs n'ont pas encore d'explications claires pour cette nouvelle cinétique.

Dans la mesure où, au plus tard au moment du traitement thermique, on met le substrat source en contact intime par ladite face à un raidisseur ou substrat cible, le traitement thermique contribue à améliorer l'énergie de collage entre ces substrats.

L'apport localisé d'énergie est de préférence appliqué sous la forme d'un choc ou d'une impulsion. Il peut être appliqué avantageusement par un outil animé d'un mouvement bref et de faible amplitude.

Il est avantageusement appliqué à proximité immédiate de la couche enterrée, limité à une partie seulement de celle-ci, de préférence à une portion périphérique de celle-ci.

Cet apport peut notamment être constitué d'un apport thermique localisé (par exemple appliqué par une impulsion laser) ou d'une contrainte extérieure (par exemple à proximité immédiate de la zone fragilisée, en un bord de celle-ci).

En fait, des essais avec une co-implantation d'hydrogène et d'hélium dans le substrat-source dans les conditions de l'invention ont conduit à un détachement catastrophique, c'est-à-dire un détachement complet et quasi-instantané, avec une propagation continue et plane de l'onde de fracture, initié à l'aide d'un très faible apport localisé d'énergie, ce qui a eu notamment pour avantage d'éviter les ondulations en surface, c'est à dire d'éviter les variations

importantes de rugosité de surface après fracture, par comparaison avec un détachement progressif. De ce fait, ce détachement catastrophique implique ensuite un moindre polissage

Il mérite d'être souligné qu'il pouvait paraître a priori difficile de définir
5 un procédé garantissant une faible rugosité suite à un détachement à basse température sans activation plasma, dans la mesure où une basse température semblait ne pas permettre un collage assez solide entre substrat-source et substrat-cible du fait d'un interface de collage faible. Bien entendu, le procédé selon l'invention peut sans détriment utiliser une activation plasma d'au moins
10 une des surfaces à mettre en contact, mais contrairement à la technique décrite par HENTTINEN, cette activation n'est pas indispensable.

Préférentiellement, l'implantation de l'espèce créant des défauts qui favorisent le détachement est faite en premier et l'implantation de la seconde espèce est faite de sorte à localiser cette deuxième espèce dans la zone des
15 défauts créés par la première espèce.

De manière avantageuse, dans le cas du silicium, cette première espèce est de l'hydrogène (de préférence sous la forme d'ions H^+), que l'on implante en concentration standard (typiquement de l'ordre de quelques 10^{16} H/cm^2), étant rappelé que l'hydrogène montre une efficacité importante pour
20 créer une couche de fragilisation. Au niveau de cette couche, la deuxième espèce (de préférence de l'hélium), jouant le rôle d'atomes piégés pour favoriser la formation des défauts de fragilisation, est implantée avec une dose relativement basse (typiquement de l'ordre de 10^{16} He/cm^2 , ou de quelques 10^{16} He/cm^2).

Lorsque le substrat source a été collé à un substrat cible, le
25 traitement thermique à basse température (néanmoins suffisante pour obtenir une bonne solidité des interfaces du collage), a pour effet que les atomes de deuxième espèce d'hélium diffusent dans les défauts créés par l'hydrogène. La fragilisation maximale obtenue à cette relativement basse température permet
30 le détachement d'une couche ultra-fine très peu rugueuse (de l'ordre de quelques nm), initié par une force extérieure.

La différence radicale de ce procédé, par rapport à la technique décrite par Henttinen, est qu'il n'est pas nécessaire de réaliser un surdosage de l'hydrogène qui peut fortement endommager la zone implantée. L'effet de la co-implantation permet d'obtenir la fragilisation maximum de cette zone à la température suffisante pour la solidité des interfaces du collage sans l'intervention des procédés supplémentaires (activation chimique de plasma et RCA1). De plus, l'invention conduit à une meilleure rugosité de la couche transférée en comparaison avec celle obtenue par un détachement thermique.

De manière avantageuse, la deuxième espèce (par exemple l'hélium) est implantée au même niveau que la première (hydrogène) mais en variante elle peut être implantée à une profondeur décalée plus importante (par exemple) dans le substrat source pour diminuer la zone dégradée par l'implantation. Ce niveau décalé peut être bien distinct du premier, par exemple beaucoup plus profond dans le substrat source. Dans ce cas, il semble qu'une petite partie de la deuxième espèce implantée soit piégée par les défauts rencontrés sur son chemin d'implantation.

En fait, la co-implantation permet de choisir une température de 200°C à 400°C.

De manière préférée, le substrat source est en un matériau choisi par les semi-conducteurs et les isolants, monocristallins, polycristallins ou amorphes. C'est ainsi qu'il peut être choisi par les semi-conducteurs IV (un exemple particulièrement intéressant est le silicium mais il peut aussi s'agir de germanium ou d'alliages Si-Ge, notamment).

Au moins dans ce cas, la température de traitement thermique est avantageusement choisie dans la gamme 200°C-400°C, de préférence dans la gamme 300°C-350°C, par exemple pendant une durée de quelques heures (typiquement de l'ordre de 2 à 5 h). Ce substrat source peut aussi être en un matériau semi-conducteur de type III-V, (par exemple As Ga ou InP) ou en un matériau isolant de préférence choisi dans le groupe comportant LiNbO3 et Li TaO3.

Le traitement thermique peut également présenter un profil adapté de manière à réduire le temps de ce traitement, comme il l'est par exemple

divulgué dans la demande de brevet européen 02-293049 déposée le 10 décembre 2002.

En fait, la gamme de température dépend principalement de la nature des espèces implantées et de la nature du matériau constitutif du substrat source.

Quant au substrat cible ou raidisseur, il est avantageusement choisi sous la forme d'un matériau amorphe, de préférence sous la forme de silice fondue. Mais il peut aussi s'agir d'un matériau monocristallin ou polycristallin, en silicium ou en saphir, notamment.

Description générale

Des objets, caractéristiques et avantages de l'invention ressortent de la description qui suit, donnée à titre illustratif non limitatif en regard du dessin annexé, sur lequel :

- la figure 1 est une vue schématique d'un substrat source en cours d'implantation,
- la figure 2 en est une vue ultérieure après mise en contact intime (collage) à un substrat cible, et
- la figure 3 en est une vue en cours de détachement d'une couche fine issue du substrat source.

La figure 1 représente ainsi un substrat 1, par exemple en silicium avantageusement oxydé à sa surface 4, en train d'être soumis à un traitement d'implantation, schématisé par les flèches 2, par exemple par bombardement, d'ions ou d'espèces gazeuses.

Cette implantation implique, à une profondeur donnée, l'implantation d'une première espèce qui est apte à générer des défauts, par exemple de l'hydrogène, de préférence sous la forme d'ions H^+ , et l'implantation d'une seconde espèce apte à occuper ces défauts, par exemple de l'hélium. Dans le cas représenté, les deux espèces sont implantées à la même profondeur, mais en variante, la seconde espèce est implantée à une autre profondeur que la première, par exemple à une plus grande profondeur.

On commence avantageusement par l'implantation de la première espèce, à savoir l'hydrogène, suite à quoi l'hélium peut occuper des défauts ainsi créés, dès son implantation. Toutefois l'ordre inverse des implantations est possible, même si les deux implantations ne se font pas à la même profondeur.

5 Il en résulte une zone enterrée 3 fragilisée par la présence de défauts, principalement générés par la première espèce, et dont la seconde espèce va contribuer au développement.

Cette zone fragilisée 3 délimite, au sein du substrat source, une future couche mince 5 et un reste de substrat source 6, c'est à dire ce qui
10 restera du substrat source après détachement de la couche mince ; ce reste pourra servir de substrat source pour un nouveau cycle de mise en oeuvre du procédé.

La figure 2 représente une étape au cours de laquelle on met le substrat source, contenant la zone enterrée fragilisée 3, par sa face 4, en
15 contact intime avec une face correspondante d'un substrat cible 7, typiquement par collage moléculaire direct, dont la fonction est celle d'un raidisseur.

On applique alors un traitement thermique qui va, d'une part, permettre un développement de la fragilisation de la couche enterrée 3, et d'autre part, lorsqu'une étape de collage a eu lieu, permettre une consolidation
20 des liaisons de collage entre substrat source et substrat cible.

Plus précisément, la température de ce traitement thermique est choisie dans une gamme de températures propres à développer la zone fragilisée, c'est-à-dire les liaisons Si-H dans le cas présent.

Ce traitement est avantageusement conduit à une température
25 choisie dans la gamme 200°C-400°C, de préférence dans la gamme 300°C-350°C, pendant une durée typiquement choisie de quelques heures, par exemple 2 heures. Ainsi, les budgets thermiques (couples température-durée) sont industriellement réalistes.

A la figure 3 est représentée l'étape de détachement de la couche
30 mince 3 vis-à-vis du reste du substrat source, au moyen de l'application d'un apport localisé d'énergie, de préférence bref et d'amplitude limitée, par exemple sous la forme d'un choc ou d'une impulsion.

Il est par exemple constitué d'une contrainte mécanique schématisée par la flèche 10.

Le détachement obtenu est catastrophique en ce sens, notamment qu'il n'y a pas de mouvement d'un outil le long de la couche fragilisée.

5 Cet apport localisé d'énergie est ici limité à une partie de la couche enterrée, schématisé sous la forme d'un effet de coin correspondant à un choc appliqué par un outil tel qu'une lame sur (ou à proximité d') une portion de cette couche enterrée fragilisée ; mais il peut être de toute autre nature, par exemple un couple parallèle au plan de la zone enterrée fragilisée avantageusement
10 appliqué sous la forme d'une impulsion de faible amplitude angulaire. Grâce au procédé de l'invention, la face de la couche mince qui est libérée par le détachement catastrophique dans la zone enterrée fragilisée (en pratique sensiblement plane) présente une rugosité Ra bien plus faible que selon les solutions classiques, sans qu'il ait été nécessaire de prévoir un traitement
15 particulier de la surfaces transférée ni de polissage important (« grossier ») après détachement. Il mérite d'être noté que, puisque le détachement est catastrophique, il n'y a pas de réelle propagation par à-coups d'une onde de fracture susceptible de générer des ondulations en surface, et que, puisqu'il n'y a pas de mouvement d'un quelconque outil le long des surfaces nouvellement
20 créées (ou de mouvement relatif entre les deux parties de part et d'autre de la couche enterrée) il n'y a pas de dégradation des surfaces ainsi libérées, qui ont donc l'état de surface, très lisse, provoqué par le détachement catastrophique.

Le substrat source 1 peut être non seulement en silicium, mais plus généralement en tout matériau connu approprié, par exemple semi-conducteur
25 IV ou III-V, monocristallin ou polycristallin voire amorphe. C'est ainsi que ce substrat source peut être :

- un autre semi-conducteur de la colonne IV du tableau périodique des éléments, par exemple en germanium,
- un semi-conducteur du type III-V tel que AsGa ou InP, notamment,
- un isolant par exemple du type niobate ou tantalate, tels que LiNbO₃ ou LiTaO₃, notamment.

Quant au substrat cible il peut être réalisé dans une grande variété de matériaux, à choisir selon les besoins, monocristallin ou polycristallin (par exemple semi-conducteurs, par exemple parmi les mêmes matériaux que pour le substrat source) voire amorphe (par exemple verres ou polymères) ; c'est ainsi qu'il peut notamment être :

- un matériau cristallin tel que le saphir,
- en silice fondue ou en un autre verre,
- une simple couche de rigidification, par exemple un oxyde de quelques dizaines de nanomètres d'épaisseur, déposée par toute technique connue appropriée (cela ne correspond plus, il est vrai, à un substrat cible massif du type représenté sur les dessins).

Il mérite d'être noté que le substrat cible peut n'être qu'un substrat intermédiaire dont la couche mince est ensuite transférée sur un substrat final.

15 Exemples

Selon un premier exemple de réalisation de l'invention, un substrat de Si (-700µm) comportant une couche de SiO₂ thermique en surface (par exemple 145nm) peut être implanté dans un premier temps avec des atomes d'hydrogène dans les conditions d'implantation 30keV-4,25.10¹⁶H/cm², puis implanté avec des atomes de l'hélium dans les conditions d'implantation 45keV-10¹⁶He/cm². Ce substrat source peut ensuite être solidarisé sur un substrat cible de Si(-700µm) par collage direct. Un traitement thermique autour de 350°C induit la croissance de cavités de type platelets localisées au niveau du pic de concentration d'hydrogène. Les atomes d'hélium jouent le rôle d'atomes piégés à ce niveau et créent un maximum de défauts de type platelets à la température appliquée. Au bout d'un certain temps (3h par exemple) avec à peine un début d'insertion d'une lame entre les interfaces de collage sous la forme d'un choc, le détachement catastrophique au niveau du maximum de concentration d'hydrogène mène au report de la couche mince de Si sur le substrat cible. La rugosité de la surface transférée mesurée à haute fréquence (en microscopie à force atomique), de l'ordre de 45 à 50 Angströms, et à basse fréquence (par profilométrie), de l'ordre de 10 Angströms, et l'amorphie de cette

surface transférée sont bien inférieures à celles qui peuvent être obtenues dans le cas de H-implanté seul ($32\text{keV}-5,5 \cdot 10^{16}\text{H}/\text{cm}^2$) suivi d'un traitement thermique à 500°C (rugosité à basse fréquence de l'ordre de 26 Angströms et rugosité à haute fréquence de l'ordre de 75 Angströms).

5 Selon un autre exemple de réalisation de l'invention, un substrat de Si (environ $300\mu\text{m}$) comportant une couche de SiO_2 thermique en surface (par exemple 200nm) est implanté dans un premier temps avec des atomes d'hélium dans les conditions d'implantation $70\text{keV}-2 \cdot 10^{16}\text{He}/\text{cm}^2$, puis implanté avec des atomes d'hydrogène dans les conditions $30\text{keV}-3 \cdot 10^{16}\text{H}/\text{cm}^2$. Ce substrat
10 source est ensuite solidarisé à un substrat cible de silice fondue (environ $1000\mu\text{m}$) par collage direct. Un traitement thermique autour de 300°C induit la croissance de cavités de types platelets localisées au niveau du pic de concentration d'hydrogène, les atomes d'hélium implanté piégés par les défauts d'hydrogène favorisant la formation d'un maximum des défauts de type platelets
15 à la température appliquée. Au bout d'un certain temps (5h par exemple), au moyen d'une lame à peine insérée entre les interfaces de collage et animée d'une impulsion de mouvement (donc un choc), le détachement catastrophique au niveau du maximum du profil d'hydrogène mène au report de la couche mince de Si sur le substrat de silice fondue, sans casse ni dégradation de l'un
20 ou l'autre des substrats issus de l'hétérostructure après détachement (le substrat de silice fondue comportant la couche mince de Si d'une part et le substrat de Si initial pelé de la couche mince superficielle d'autre part). La rugosité de la surface transférée, mesurée à basse fréquence par la profilométrie (de l'ordre de 14 Angströms à basse fréquence et de l'ordre de 75
25 Angströms en haute fréquence) et l'amorphie de cette surface transférée sont bien inférieures à celles qui peuvent être obtenues dans le cas de H-implanté seul ($32\text{keV}-5,5 \cdot 10^{16}\text{H}/\text{cm}^2$) suivant le mode de détachement mécanique progressif à haute température (rugosité en haute fréquence de l'ordre de 90 Angströms et de l'ordre de 40 Angströms à basse fréquence).

Références

- [1] K. Henttinen et al., Applied Physics Letters, Volume 16, Number 17, 24 April 2000 ; pp. 2370-2372
- [2] A. Argawal et al. Applied Physics Letters, volume 72, Number 9, 2 March 1998 ; pp. 1086-1088
- [3] G. F. Cerofolini et al., Materials Science and Engineering B71 - 2000, pp. 196-202

REVENDEICATIONS

1. Procédé de transfert catastrophique d'une couche fine selon lequel :

- 5 - on prépare un substrat source,
- on implante dans ce substrat-source une première espèce d'ions ou de gaz dans une première dose à une profondeur donnée par rapport à une face de ce substrat-source, et une seconde espèce d'ions ou de gaz dans une seconde dose, cette première espèce étant apte à générer des défauts et la
- 10 seconde espèce étant apte à occuper ces défauts,
- on applique un raidisseur en contact intime avec le substrat-source,
- on applique un traitement thermique à ce substrat-source, à une température donnée pendant un temps donné, en sorte de créer, sensiblement à la profondeur donnée, une zone enterrée fragilisée, sans
- 15 initier le détachement thermique de la couche fine,
- on applique un apport localisé d'énergie à ce substrat-source en sorte de provoquer le détachement catastrophique d'une couche fine délimitée entre la face et la couche enterrée fragilisée, vis-à-vis du reste du substrat-source, cette couche mince ayant à l'opposé de la dite face, une face dont la
- 20 rugosité est inférieure à un seuil donné.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'on applique l'apport localisé d'énergie à une petite partie seulement de la couche enterrée fragilisée.

3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que l'on

25 applique l'apport localisé d'énergie sous la forme d'un apport thermique localisé.

4. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que l'on applique l'apport localisé d'énergie sous la forme d'un apport d'un mouvement bref et de faible amplitude appliqué au moyen d'un outil.

5. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que l'on

30 applique l'apport localisé d'énergie sous la forme d'un choc en une zone périphérique de la couche enterrée fragilisée.

6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5,

caractérisé en ce que le raidisseur avec lequel le substrat-source est mis en contact intime, au plus tard au moment du traitement thermique, est un substrat cible, le traitement thermique contribuant à améliorer l'énergie de collage entre ces substrats.

5 7. Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce que le substrat cible est en un matériau amorphe.

8. Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce que le substrat source est en silicium et le substrat cible est en silice fondue.

10 9. Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce que le substrat cible est un matériau monocristallin ou polycristallin.

10. Procédé selon la revendication 9, caractérisé en ce que le substrat cible est en silicium.

15 11. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, caractérisé en ce qu'on réalise l'implantation de la première espèce avant celle de la seconde espèce.

12. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 11, caractérisé en ce qu'on prépare le substrat source en un matériau choisi parmi les semi-conducteurs et les isolants, monocristallins, polycristallins ou amorphes.

20 13. Procédé selon la revendication 12, caractérisé en ce qu'on prépare le substrat source en un matériau choisi parmi les semi-conducteurs IV.

14. Procédé selon la revendication 13, caractérisé en ce qu'on réalise le substrat source en silicium.

25 15. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 14, caractérisé en ce que le traitement thermique est réalisé à une température choisie dans la gamme 200°C-400°C.

16. Procédé selon la revendication 15, caractérisé en ce que le traitement thermique est réalisé à une température choisie dans la gamme 300°C-350°C.

30 17. Procédé selon la revendication 15 ou la revendication 16, caractérisé en ce que le traitement thermique est conduit pendant environ 2 h à 5h.

18. Procédé selon la revendication 12, caractérisé en ce qu'on prépare le substrat source en un matériau semi-conducteur de type III-V.

19. Procédé selon la revendication 12, caractérisé en ce qu'on prépare le substrat source en un matériau isolant choisi dans le groupe
5 constitué par LiNbO₃ et LiTaO₃.

20. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 19, caractérisé en ce que la première espèce est de l'hydrogène.

21. Procédé selon la revendication 20, caractérisé en ce que la première espèce est de l'hydrogène de type H⁺.

10 22. Procédé selon la revendication 21, caractérisé en ce que la première espèce est implantée à une dose de l'ordre de quelques 10^{16} H/cm².

23. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 22, caractérisé en ce que la seconde espèce est de l'hélium.

15 24. Procédé selon la revendication 23, caractérisé en ce que la seconde espèce est implantée à une dose de l'ordre de quelques 10^{16} He/cm², inférieure à la dose de la première espèce.

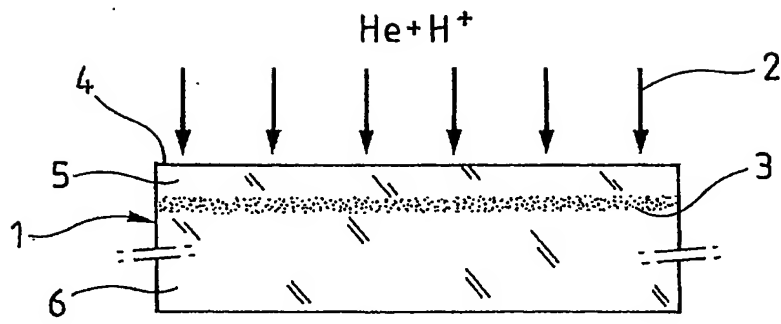


Fig. 1

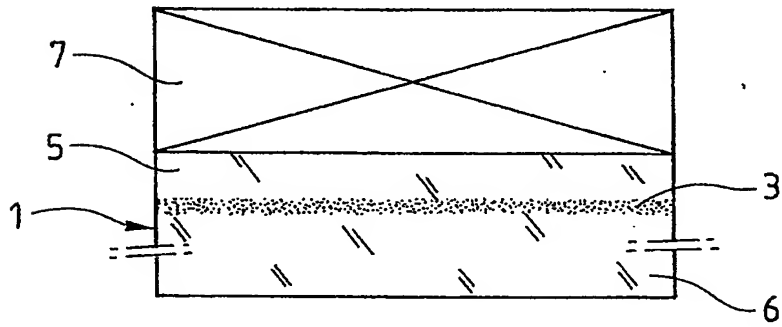


Fig. 2

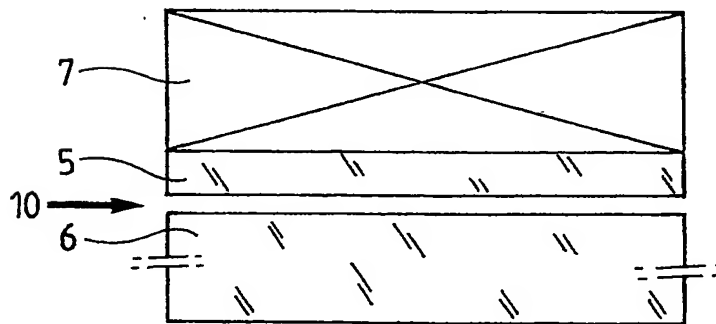


Fig. 3



BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI

N° 11235*03

DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg
75800 Paris Cedex 08

Téléphone : 33 (1) 53 04 53 04 Télécopie : 33 (1) 42 94 86 54

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° 1/1

(À fournir dans le cas où les demandeurs et
les inventeurs ne sont pas les mêmes personnes)

INV

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 113 W / 270601

Vos références pour ce dossier (facultatif)		BIF023430/FR
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL		0312621
TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)		
Procédé de transfert catastrophique d'une couche fine après co-implantation		
LE(S) DEMANDEUR(S) :		
S.O.I.TEC SILICON ON INSULATOR TECHNOLOGIES COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE		
DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) :		
1 Nom		NGUYEN
Prénoms		Nguyet-Phuong
Adresse	Rue	65, rue Joseph Bouchayer,
	Code postal et ville	38100 GRENOBLE
Société d'appartenance (facultatif)		
2 Nom		CAYREFOURCO
Prénoms		Ian
Adresse	Rue	74, chemin du Theys
	Code postal et ville	38330 SAINT NAZAIRE LES EYMES
Société d'appartenance (facultatif)		
3 Nom		LAGAHE-BLANCHARD
Prénoms		Christelle
Adresse	Rue	Route de la Cascade
	Code postal et ville	38134 SAINT JOSEPH DE RIVIERE
Société d'appartenance (facultatif)		
S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez plusieurs formulaires. Indiquez en haut à droite le N° de la page suivi du nombre de pages.		
DATE ET SIGNATURE(S) DU (DES) DEMANDEUR(S) OU DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire)		
Le 28 octobre 2003 Bruno QUANTIN N°92.1206 SANTARELLI		